





PREMIER MÉMOIRE

SUR

LE MOUVEMENT

DES

FLUIDES,



Renfermant quelques expériences :

1° SUR LES MOUVEMENS EXCITÉS DANS UN MILIEU EN REPOS PAR UN COURANT QUI LE TRAVERSE, 2° SUR LES PRESSIONS QU'UN COURANT EXERCE CONTRE UN CORPS SOLIDE TRÈS-PETIT, PLACÉ SOIT A SA SURFACE SOIT DANS SON INTÉRIEUR,

Par M. Lechevalier,

LIEUTENANT D'ARTILLERIE, ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE.



METZ,

CHEZ THIEL, LIBRAIRE, PLACE St-JACQUES.

1828.

METZ. DE L'IMPRIMERIE DE S. LAMORT.

PREMIER MÉMOIRE

SUR LE MOUVEMENT

DES

FLUIDES.

CHAPITRE PREMIER

SUR LES MOUVEMENS EXCITÉS DANS UN MILIEU EN REPOS PAR UN COURANT DE FLUIDE QUI LE TRAVERSE.



VENTURI est le premier qui ait examiné par la voie de l'expérience, quel est le mode d'action exercé sur l'air atmosphérique, ou sur une masse d'eau en repos, par un courant de fluide qui les traverse. Il rapporte, dans un Mémoire très-remarquable, ayant pour titre *Recherches expérimentales sur le Principe de la Communication latérale du mouvement dans les Fluides*, quelques expériences qui prouvent 1° qu'un courant d'air ou d'eau qui traverse l'atmosphère, entraîne l'air et les corps légers qui l'avoisinent; 2° qu'un courant d'eau qui traverse une masse de ce liquide l'entraîne également. C'est ce phénomène que Venturi désigne sous le nom de *Communication latérale du mouvement dans les Fluides*. Quant à sa cause, il remarque qu'elle peut consister soit « dans la viscosité et l'adhérence mutuelles des parties

» du fluide, soit dans leurs engagemens et entre-
» lacemens réciproques, soit dans l'écartement de
» celles qui sont en mouvement » et, quoique dans le courant de son Mémoire il revienne fréquemment sur cette troisième hypothèse et paraisse disposé à l'adopter, néanmoins, il termine en disant qu'il admet la communication latérale comme un principe expérimental, sans prétendre en donner d'explication.

Il est bon d'observer que les deux premières hypothèses, savoir : que la communication latérale dépend ou de la viscosité et de l'adhérence mutuelles des parties du fluide, ou de leurs engagemens et entrelacemens réciproques, n'ont pu être mises en avant par Venturi, que parce qu'il pensait que cette communication latérale se faisait par couches concentriques au courant; c'est-à-dire qu'un courant cylindrique, par exemple, entraînait avec lui la couche de fluide qui le touchait, que celle-ci entraînait la suivante, et ainsi de suite; en sorte que dans tout l'espace où le mouvement était propagé, ce mouvement avait lieu dans des directions parallèles à celle du courant. Mais il n'en est point ainsi dans la réalité; nous verrons bientôt que les molécules du fluide qui environnent le courant, s'avancent vers lui dans des directions qui, d'abord presque perpendiculaires à la sienne, s'infléchissent successivement vers elle et finissent par lui être presque parallèles. De là nous pourrons conclure que la communication du mouvement ne peut être expliquée entièrement ni par la viscosité des fluides, ni par l'entrelacement de leurs molécules.

La troisième hypothèse proposée par Venturi, savoir : que la communication latérale est due à l'écartement des molécules qui sont en mouvement, semble lui avoir été suggérée principalement par ce fait remarquable que, dans des circonstances semblables un tuyau cylindrique dépense plus qu'un orifice en même paroi : c'est du moins à l'occasion de ce phénomène qu'il la développe (*page* 18 *du Mémoire sur le Principe de la communication latérale du Mouvement dans les Fluides*, édition de l'an 6).

Avant de discuter cette dernière hypothèse, je crois nécessaire d'exposer avec détails les circonstances qui accompagnent le mouvement d'un fluide dans un milieu résistant.

Je subdivise les courans de fluides en courans continus et courans discontinus. Les courans continus sont ceux entre les parties desquels il n'existe point d'intervalles sensibles ; les courans discontinus, ceux dont les diverses parties sont séparées par des intervalles sensibles. Ainsi, on obtient un courant discontinu, lorsqu'on fait passer une série de bulles d'air dans un liquide, ou que l'on fait tomber une série de gouttes d'eau dans l'atmosphère suivant une même direction. Je vais exposer d'abord les effets des courans continus.

Courant d'air continu dans l'atmosphère. Sur le fond horizontal AB (Fig. 1) du gazomètre ABCD, j'ai fixé, dans une situation verticale, un tube cylindrique EF de $0^{m},20$ de longueur et $0^{m},005$ de diamètre intérieur, destiné à laisser

sortir un courant d'air sous une pression constante; cette pression se mesurait à l'aide d'un tube recourbé GH contenant une colonne d'eau. Puis, afin de connaître la direction du mouvement tant des particules du courant que de celles de l'air atmosphérique, j'ai attaché sur le fond du gazomètre, dans une position verticale, une petite règle en bois IK qui portait huit fines aiguilles en acier, toutes horizontales et situées dans un même plan vertical passant par l'axe du tube EF, et sur lesquelles se trouvaient collées, par l'une de leurs extrémités, de petites plumes ou barbes d'édredon situées dans des directions horizontales perpendiculaires au plan des aiguilles. Les aiguilles 1, 2, 3, 4, 5, 6 étaient écartées de $0^m,05$ les unes des autres; 6, 7 et 8 de $0^m,01$ seulement; l'aiguille 6 se trouvait d'ailleurs dans le plan horizontal de l'orifice F. L'extrémité libre des aiguilles 1, 2, 3, 4, 5 était sur le prolongement de l'axe du tube EF; celle des aiguilles 6, 7, 8 était à $0^m,01$ du même axe. Sur chacune des aiguilles, les plumes, au nombre de 30, se trouvaient écartées les unes des autres de $0^m,005$, la première occupant l'extrémité libre de l'aiguille; enfin, sur les aiguilles 1, 2, 3, 4 et 5 entre la première plume et la suivante, il y avait une autre plume disposée comme celles-ci, mais située à $0^m,002$ de la première. On voit (Fig. 2), pour les aiguilles 1, 2, 3, 4, 5 et (Fig. 3) pour 6, 7, 8, les dispositions relatives de toutes les plumes d'une même aiguille.

Les choses étant ainsi disposées, j'ai laissé l'air comprimé s'écouler par l'orifice F, et j'ai jugé, par

la direction que prenaient les plumes, du sens du mouvement, tant de cet air que de l'air atmosphérique.

Voici les résultats observés dans une expérience où l'écoulement de l'air par le tube EF avait lieu sous une pression constante de $0^{m},30$ d'eau.

Aiguille 1. La plume n° 1 qui, avant le mouvement, était horizontale se redressait sous l'influence du courant, et se plaçait dans le prolongement de son axe, c'est-à-dire dans une position verticale. Les 9 plumes suivantes se redressaient aussi dans le plan vertical des aiguilles, mais au lieu d'être verticales leur extrémité libre se rapprochait un peu du courant, de telle sorte qu'elles faisaient avec son axe un angle qui bien qu'assez petit, l'était pourtant d'autant moins qu'elles se trouvaient plus éloignées de lui. Les autres plumes, depuis la 11ᵉ jusqu'à la 22ᵉ étaient aussi mises en mouvement; mais le mouvement diminuait à mesure qu'elles étaient plus éloignées du courant, et il était insensible au-delà de la 22ᵉ. Ces plumes, au lieu de venir se placer dans le plan vertical des aiguilles, se relevaient d'autant moins qu'elles étaient plus éloignées du courant, et les 20ᵉ, 21ᵉ, 22ᵉ, restaient dans le plan même où elles avaient été placées, tandis que, d'autre part, l'extrémité libre de chacune se courbait progressivement vers le courant, de telle sorte que dans les 20ᵉ, 21ᵉ, et 22ᵉ, cette extrémité était pliée presque parallèlement à l'aiguille. On comprendra mieux ces déplacemens à l'inspection de la figure 4 qui représente les projections horizontale et verti-

cale des plumes de l'aiguille considérée pendant que le mouvement a lieu.

Aiguilles 2, 3, 4, 5. Sur chacune de ces aiguilles, les directions des plumes étaient analogues aux précédentes; seulement le nombre des plumes déplacées diminuait à mesure que l'aiguille considérée se trouvait plus près de l'orifice F du tube.

Aiguilles 6, 7 et 8. Sur ces aiguilles il n'y avait point de plumes amenées dans le plan vertical des aiguilles, mais celles qui étaient déplacées se comportaient à peu près comme les 15e, 16e, etc., de l'aiguille n° 1, de plus leur nombre était très-petit.

J'ai réuni, dans le tableau suivant, l'ensemble des résultats observés :

NUMÉROS des aiguilles.	NOMBRE des plumes qui se redressent dans le plan vertical des aiguilles.	NOMBRE des plumes qui, quoique agitées, ne viennent point se placer dans le plan vertical des aiguilles.	*OBSERVATIONS.*
1	10	12	Il est bon de remarquer que malgré tout le soin apporté dans le choix des barbes d'édredon, elles différaient un peu entre elles sous le rapport de la sensibilité, en sorte que les nombres de ce tableau ne peuvent être considérés que comme des à-peu-près, mais qui pourtant doivent peu s'éloigner de la réalité.
2	8	12	
3	6	10	
4	4	10	
5	3	10	
6	0	6	
7	0	3	
8	0	1	

Pour rendre les résultats renfermés dans ce tableau plus faciles à saisir dans leur ensemble, on les a réunis à l'aide d'un tracé graphique indiqué figure 5. Dans cette figure, F est l'orifice du tube par lequel l'air s'écoule; FAA'A"A'" est l'espace dans lequel les barbes d'édredon sont redressées dans le plan vertical des aiguilles; enfin l'espace compris entre FAA'A"A'" et CBB'B"B'" est celui où les plumes, quoiqu'agitées, ne viennent point se placer dans ce plan.

Si l'on considère que le courant d'air qui sort du gazomètre a 2 $\frac{1}{2}$ millimètres de rayon; que la plume n° 2 des aiguilles 1, 2, 3, 4, 5 qui est située à 2 millimètres de l'extrémité libre de ces aiguilles est dans l'intérieur du courant; que cette plume ne se place pas verticalement comme celle qui est à l'extrémité de l'aiguille, mais qu'elle se rapproche par son extrémité libre de l'axe du courant; on pourra conclure que si l'on divise par la pensée la masse d'air qui sort de l'orifice F en filets infiniment déliés, tous ces filets, une fois sortis de l'orifice, convergent les uns vers des autres.

Si, en outre, on examine avec attention la direction du mouvement imprimé aux plumes sur chaque aiguille, on verra que les différentes parties de l'air atmosphérique qui avoisinent le courant participent à son mouvement, mais de telle sorte qu'une particule d'air *m*, par exemple (Fig. 5), située à une certaine distance du courant, parcourt un chemin *mnpq* qui, d'abord presque perpendiculaire au courant, s'infléchit bientôt et de plus en plus

vers lui, et finit par faire un très-petit angle avec sa direction.

La direction de ce chemin *mnpq* est suffisamment indiquée par celle des plumes; et c'est même à cause de la forme de ce chemin que l'air est mu, *mais avec peu de vîtesse*, dans la partie CBB''' de l'atmosphère située au-dessous de l'orifice F.

Pour qu'il ne reste aucune obscurité sur ce sujet, j'ai représenté (Fig. 6) l'ensemble des mouvemens d'un courant qui sort d'un orifice F, et de l'air atmosphérique qui l'avoisine.

On pourrait demander suivant quelle loi décroît la vîtesse d'un pareil courant d'air, et quelles sont les directions de ses filets vers le lieu où il est arrêté par la résistance de l'air ambiant; c'est un sujet sur lequel je me propose de revenir dans un prochain mémoire.

Courant d'eau continu dans l'atmosphère. Les effets précédens se reproduisent, toutefois avec une très-faible intensité, quand on dirige un courant d'eau à travers l'atmosphère.

Courant d'eau continu dans une masse d'eau. Ces effets sont très-prononcés au contraire, lorsqu'on dirige un courant d'eau qui sort d'un tube vertical AB (Fig. 7), dans une masse d'eau contenue dans un vase CD. Mais pour qu'ils soient sensibles à l'œil, il faut que le vase soit transparent et qu'on ait mêlé à l'eau qui s'y trouve une poudre visible de même densité que ce liquide. Il faut d'ailleurs que le tube n'ait pas plus de $0^{m},001$ de

diamètre, celui du vase étant $0^{m},20$; sans quoi il se produit, outre les mouvemens indiqués (Fig. 7), des courans ascensionnels EC, DF (Fig. 8), très-sensibles dans tout le pourtour du vase.

Tels sont les mouvemens produits par un courant vertical continu dans un milieu qu'il traverse (1).

Passons maintenant à l'étude des courans discontinus.

Courant d'eau discontinu dans l'atmosphère. Il est connu depuis long-temps que la pluie, qu'on peut considérer comme un courant d'eau discontinu, produit un courant d'air continu qui suit sa direction; ce courant d'air continu doit exciter dans l'air ambiant des mouvemens analogues à ceux que j'ai décrits plus haut.

Courant d'air discontinu dans une masse d'eau. Si après avoir rempli d'eau un verre, par exemple, dans lequel on a jeté une poussière de même densité que le liquide, on fait passer à travers celui-ci un courant d'air discontinu à l'aide d'un tube capillaire recourbé (Fig. 9), dans lequel on souffle, on reconnaîtra aisément, par le mouvement des par-

(1) Comme l'appareil que j'ai décrit plus haut exige une préparation un peu longue, j'indiquerai en faveur des personnes qui voudraient vérifier les faits mentionnés ci-dessus, une manière très-simple et très-expéditive de faire l'expérience. Elle consiste à diriger un courant d'air dans le voisinage de la flamme d'une bougie, en soufflant dans un tube de verre de 4 à 5 millimètres de diamètre: on voit à l'instant la flamme s'approcher du courant en se courbant vers lui; et si l'on fait varier la distance de la flamme au courant, on pourra reproduire aisément tous les effets décrits, mais d'une manière moins sensible, parce que les flammes, même les plus légères, sont beaucoup moins mobiles que les barbes d'édredon.

ticules de la poussière, qu'il se forme autour du courant d'air discontinu, un courant d'eau continu dirigé dans le même sens et qui agit sur le fluide ambiant comme je l'ai exposé.

On peut conclure des faits qui précèdent qu'un courant discontinu produit, *si non immédiatement*, *du moins médiatement* des effets semblables à ceux des courans continus.

Dans ce qui précède nous n'avons considéré que des courans verticaux. Lorsqu'un courant est incliné, les mouvemens qu'il excite dans le milieu qu'il traverse sont analogues à ceux que produit un courant vertical; cependant on conçoit que la pesanteur vient ici compliquer un peu le résultat; aussi nous ajournons à un prochain *mémoire* le détail des expériences relatives à ce sujet.

Il résulte des expériences précédentes que les phénomènes produits par un courant de fluide dans un milieu indéfini ne consistent point, ainsi que le pensait Venturi, dans une communication latérale en vertu de laquelle le fluide ambiant devrait se mouvoir concentriquement au courant initial; mais qu'ils consistent en ce que *les particules du fluide avoisinantes s'avancent d'abord vers le courant*, *puis s'infléchissent dans le sens de son mouvement*, *et enfin se dirigent presque parallèlement à son axe*.

Avant de rechercher quelle est la cause de ces phénomènes, il importe de bien préciser en quoi ils consistent. Or, soit *ab* (Fig. 10) un courant vertical continu dirigé de bas en haut suivant *ab*; soit

$mm'm''m'''$...... le chemin parcouru sous l'influence de ce courant par une molécule m du milieu qu'il traverse : divisons par la pensée le temps employé à parcourir le chemin $mm'm''$...... en un nombre infini d'instans infiniment petits, et soient mm', $m'm''$, $m''m'''$.... les différentes parties de la ligne $mm'm''$.... parcourues pendant chacun de ces instans. Il est clair que la molécule m qui, partant du repos, parcourt dans le commencement de son mouvement la ligne mm' presque perpendiculaire au courant, est sollicitée pendant le premier instant par la pesanteur suivant mp et par une autre force suivant mn telle que leur résultante est dirigée suivant la droite mm'. Si la force qui sollicite la molécule dans le sens mn ne changeait ni d'intensité ni de direction avec sa distance au courant, celle-ci continuerait de se mouvoir suivant le prolongement de mm'; mais il n'en est pas ainsi : au lieu de suivre cette direction, elle parcourt une ligne $m'm''$ située au-dessus de mm'; il faut donc qu'elle soit sollicitée, dès qu'elle est arrivée en m', par une nouvelle force extérieure $m'n'$ telle que la résultante de cette force, de la pesanteur et de la quantité de mouvement acquise suivant mm', soit $m'm''$. Quand la molécule m est arrivée en m'', la même chose se reproduit : elle suit une ligne $m''m'''$ inclinée à $m'm''$; d'où l'on peut conclure qu'elle est soumise, en m'', à l'action d'une nouvelle force extérieure telle que $m''n''$, et ainsi de suite. Il résulte de là qu'une molécule quelconque du milieu dans lequel le courant est établi, est soumise à chaque instant à l'action d'une force extérieure qui tend à la porter

vers le courant, et dont l'intensité ainsi que la direction varient avec la distance de la molécule à ce courant.

Lorsque le courant est descendant, l'expérience montre que le chemin parcouru, sous son influence, par une molécule quelconque du milieu qui l'avoisine, est, à peu de chose près, le même que dans le cas où le courant est ascendant. Il est aisé d'en conclure, que cette molécule est, comme précédemment, soumise à chaque instant à l'action d'une force extérieure qui tend à la porter vers le courant, et dont l'intensité ainsi que la direction varient avec la distance de la molécule à ce courant.

Nous verrons dans le chapitre suivant quelle est la nature de cette force.

CHAPITRE DEUXIÈME.

PRESSIONS QUE LES PARTICULES D'UN COURANT VERTICAL EXERCENT CONTRE UN CORPS SOLIDE EXTRÊMEMENT PETIT, PLACÉ SOIT A LA SURFACE, SOIT DANS L'INTÉRIEUR DU COURANT.

Daniel Bernouilly a consigné, dans son hydrodynamique, une expérience très-curieuse au sujet de la pression que l'eau exerce contre la paroi d'un tuyau conique par lequel elle sort d'un vase. Voici en quoi elle consiste : Si l'on adapte à un tuyau conique AB (Fig. 11) par lequel un vase CD plein d'eau se vide, un tube de verre EF vertical dont l'extrémité F soit plongée dans un vase plein d'eau, l'eau de ce dernier remonte dans le tube EF, et s'écoule par l'orifice E lorsque la longueur de ce tube est peu considérable.

Depuis, Bossut a fait voir que lorsque l'eau s'écoule d'un vase par un tuyau cylindrique, court, disposé horizontalement, il ne sort point de liquide par un petit trou pratiqué dans la paroi de ce tuyau, quoique ce petit trou soit beaucoup plus éloigné de l'orifice que la section contractée.

Poursuivant cette étude, Venturi chercha quelle est la pression exercée contre la paroi d'un tuyau cylindrique à l'endroit de la section contractée; à cet effet, il fixa en ce lieu, à la manière de Bernouilly, un tube de verre dont l'extrémité était plongée dans un vase plein d'eau, et il vit l'eau s'é-

lever dans le tube; ce qui le porta à conclure que la pression exercée par l'eau en ce point, est moindre que la pression atmosphérique. Il adapta ensuite son tube de verre un peu au-delà de la section contractée, et il s'aperçut que non-seulement l'eau ne s'élevait point dans ce tube, mais qu'elle s'y abaissait au-dessous du niveau de l'eau du vase où il était plongé.

En rapprochant ces divers résultats, on voit 1° *que la pression que l'eau exerce contre les parois d'un tuyau cylindrique court, par lequel elle s'écoule, est, à l'endroit de la section contractée, plus petite que celle de l'atmosphère;* 2° *que cette pression croît lorsqu'on s'éloigne de la section contractée, et devient, à une certaine distance de cette section, plus grande que la pression atmosphérique;* 3° *qu'elle décroît ensuite, et que bientôt elle diffère peu de la pression de l'atmosphère.*

On admet généralement, d'après des considérations théoriques, que, hors l'endroit de la section contractée, la pression qui a lieu dans un point quelconque du tuyau, en outre de la pression de l'atmosphère, est due à la charge du fluide qui a lieu sur ce point, moins la hauteur due à la vîtesse en ce point.

Pour terminer ce qui concerne les pressions de l'eau qui s'écoule hors d'un vase, je rapporterai cette expérience très-remarquable de Dubuat : Si l'on dispose un tube recourbé ABC (Fig. 12) de manière que son extrémité C entre dans l'orifice D par le-

quel l'eau s'écoule du vase DE, l'eau s'élève dans la branche AB au-dessus de son niveau dans le vase.

S'il existe peu de divergence dans les opinions des auteurs sur la manière d'évaluer la pression que l'eau exerce contre les parois d'un tuyau dans lequel elle se meut, on peut affirmer que ces opinions sont tout-à-fait opposées lorsqu'il s'agit du mouvement de l'eau dans un canal. Ainsi Dubuat prescrit de mesurer la pression que supporte la paroi du canal, ou celle que supporte un corps solide placé dans le courant, par la hauteur du liquide au-dessus du point que l'on considère, diminuée de la hauteur qui produirait sa vîtesse en ce point; en sorte que, si z est la distance verticale du point considéré, à la surface du fluide, v la vîtesse du fluide en ce point, et $\frac{v^2}{2g}$ la hauteur due à cette vîtesse, la pression y est due à la hauteur $z - \frac{v^2}{2g}$; tandis qu'on lit dans M. Navier (architecture hydraulique de Bélidor, page 342): « Ce principe (celui de Dubuat), qui » a effectivement lieu dans quelques cas ne peut » être adopté en général; et on peut affirmer au » contraire que dans un courant réglé, où la » section et la vîtesse sont constantes, la pression » est due en chaque point à la distance z, c'est-» à-dire qu'elle est la même que si le fluide était » stagnant, et sa surface horizontale. Mais si la pré-» sence d'un corps plongé dans le fluide oblige les » molécules à accélérer leur mouvement à l'entour » de ce corps, la pression y diminue; elle est alors

» due à une hauteur d'autant plus petite que z, que
» l'augmentation survenue dans la vîtesse est plus
» considérable. En appelant u la vîtesse dans un
» point où le mouvement naturel du fluide est ainsi
» troublé, la pression peut y être censée due à une
» hauteur exprimée par

$$z - k\frac{u^2 - v^2}{2g},$$

» la quantité k étant un coefficient numérique
» constant. »

Dubuat a fait, sur ce sujet, un grand nombre d'expériences très-intéressantes. Il a reconnu que lorsqu'un corps est plongé dans un courant d'eau, sa partie antérieure, c'est-à-dire celle qui reçoit le choc du courant, supporte une pression plus grande que si l'eau était en repos, tandis que ses faces postérieure et latérale, supportent des pressions moindres que si cela avait lieu. Il est à remarquer qu'en même temps que ces effets se produisent, la vîtesse des molécules d'eau varie singulièrement dans les différens points de la surface du corps plongé; et, comme ces vîtesses n'ont point été mesurées, il est impossible de savoir si le défaut de pression, qu'éprouvent les faces postérieure et latérale du corps plongé, se déduit de la règle que donne Dubuat ou de celle que propose M. Navier.

Si l'on examine les notions positives qu'on a acquises sur les pressions que l'air exerce contre les parois des ajutages dans lesquels il se meut, on voit qu'elles se réduisent à très-peu de chose,

parce qu'il n'a été fait qu'un très-petit nombre d'expériences à ce sujet. On peut cependant en citer deux qui sont très-intéressantes, l'une est de M. Lagerhjelm, et a été communiquée, en 1812, à l'Académie des Sciences, par M. Olivier; en voici le résultat : Lorsque l'air sort d'un vase par un tuyau cylindrique, la pression qu'il exerce à l'endroit de la section contractée, est, ainsi que la chose arrive pour l'eau, moindre que la pression de l'atmosphère.

L'autre est de M. Griffith, ingénieur des machines de Fourchambaut; il a trouvé que si l'on fait sortir un courant d'air par un orifice ouvert dans une paroi plane, et que l'on présente au choc de ce courant une planche ou un disque de métal, ces corps, repoussés d'abord par l'action de ce choc, sont attirés au contraire, lorsque, surmontant cette répulsion, on les approche à une très-petite distance de l'orifice. M. Clément a fait voir que la pression exercée par le courant contre le disque mobile, est, vers les bords de ce disque, moindre que celle de l'atmosphère; en sorte que ce phénomène singulier dépend de l'excès de cette dernière sur l'autre (1). M. Clément explique la diminution de pression qui se manifeste vers les bords du disque, en observant que la veine d'air qui sort de l'ouverture, s'épanouit en lame très-mince, pour passer

(1) J'avais annoncé ce défaut de pression, dans deux notes présentées à l'Académie des Sciences, dans le courant du mois d'août 1827, et par conséquent avant que les expériences de M. Clément ne fussent connues, puisqu'elles ne l'ont été que le 10 septembre 1827, par le rapport fait à l'Académie.

entre le disque et la paroi; que, son épaisseur restant la même, elle doit s'élargir à mesure qu'elle approche de la circonférence du disque; et qu'elle se trouve ainsi dans le même cas qu'une veine d'eau qui remplit un tuyeau conique dont les sections deviennent toujours croissantes.

M. Hachette a produit le même phénomène d'attraction apparente entre les bords de l'orifice et le disque, au moyen d'un courant d'eau. Enfin M. Baillet, inspecteur divisionnaire des mines, a rendu sensible la diminution de pression qui a lieu dans un tuyau conique divergent, en plaçant à l'extrémité de la tuyère d'un soufflet d'appartement, un semblable tuyau ou cône en papier qui se trouve froissé et comprimé par la pression extérieure lorsqu'on fait agir le soufflet.

J'ajouterai que M. Daubuisson a donné dernièrement dans les annales de physique et de chimie un précis d'expériences sur le mouvement de l'air dans des tuyaux cylindriques; mais je connais trop peu le détail de ces expériences pour pouvoir émettre ici une opinion motivée à leur sujet.

Après avoir exposé, dans ce qui précède, les principales expériences qui sont arrivées à ma connaissance sur la question dont il s'agit, je vais entrer dans l'explication de mes propres observations.

Lorsqu'un fluide s'écoule d'un vase soit par un orifice en mince paroi, soit à l'aide d'un tube additionnel, il peut arriver que le courant de fluide à sa sortie du vase se meuve librement dans un milieu en repos, ou bien qu'il soit reçu dans un

canal où il s'écoule. Il y a donc lieu d'étudier successivement les pressions exercées sur un corps solide en repos, 1° par un courant qui se meut librement dans l'atmosphère; 2° par un courant qui se meut librement dans une masse d'eau en repos; 3° par un courant qui se meut dans un canal; 4° enfin par un fluide en mouvement dans un vase, en comprenant sous le nom de vase, non-seulement le vase proprement dit, mais les tuyaux ou ajutages quelconques qui en font partie.

Les expériences que nous rapporterons dans ce chapitre, sont relatives aux pressions exercées sur un corps solide, par des courans d'air ou d'eau qui, à leur sortie du vase qui les fournit, traversent librement l'atmosphère, ou une masse d'eau en repos.

Soit EF (Fig. 13) un courant d'eau vertical qui à sa sortie du vase EG, se meut librement dans l'atmosphère. Pour connaître la pression que le courant exerce en un point A de sa surface sur un corps qui lui serait tangent en ce point, on courbe à la lampe un tube capillaire ABC, de manière que les deux branches AB, BC soient rectangulaires; on effile son extrémité A et l'on divise la branche BC en millimètres. Cela fait, on remplit d'eau le tube ABC; puis, tenant la branche BC dans une situation verticale, on approche l'extrémité A de la surface du courant, jusqu'à ce qu'elle le touche; et l'on voit alors l'eau se fixer dans la branche BC à une hauteur moindre que si le tube était plongé dans de l'eau en repos.

Si l'on change le tube de position, de manière toutefois qu'il reste en contact avec la surface du courant, on remarque que l'eau se maintient dans la branche BC à une hauteur qui est constante pour tous les points situés dans une même tranche horizontale, mais qui varie d'une tranche à l'autre.

Si au lieu de laisser le tube en contact avec le courant, on l'enfonce horizontalement dans son intérieur, on voit l'eau baisser dans la branche BC beaucoup plus que lorsqu'il ne faisait que toucher la surface. J'ai réuni dans le tableau suivant les hauteurs de l'eau dans le tube BC, relatives à différens enfoncemens de la branche AB dans un courant vertical de $0^m,008$ de diamètre qui s'écoulait, en mince paroi, d'un vase cylindrique de $0^m,30$ de diamètre, dans lequel le niveau de l'eau était entretenu à $0^m,10$ au-dessus du fond. La branche AB du tube ABC était à $0^m,004$ de l'orifice.

Enfoncement de l'extrémité A du tube ABC dans la veine d'eau.	Hauteur de l'eau dans la branche verticale BC du tube ABC.
$0^m,000$	$0^m,088$
0,001	0,053
0,002	0,018
0,003	0,014
0,004	0,010

Lorsqu'on plongeait le tube ABC dans une eau tranquille, en ayant soin que la branche BC fût verticale, l'eau y était soutenue à $0^m,092$ au-dessus

de son niveau; si donc on retranche les nombres de la deuxième colonne du tableau précédent de $0^{m},092$, les restes représenteront les dépressions de l'eau dans le tube BC relatives aux divers enfoncemens de l'extrémité A dans le courant. Ces dépressions sont rapportées dans le tableau suivant :

Enfoncement de l'extrémité A du tube ABC dans la veine d'eau.	Dépression de l'eau dans la branche verticale BC du tube ABC.
m	m
0,000	0,004
0,001	0,039
0,002	0,074
0,003	0,078
0,004	0,082

Ces dépressions varient lorsqu'on approche ou lorsqu'on éloigne la branche AB du tube ABC de l'orifice par lequel l'eau s'écoule.

Enfin elles augmentent quand, toutes choses égales, la vîtesse du courant s'accroît.

Quelle que soit la cause à laquelle on attribue la dépression produite dans la branche verticale du tube capillaire, il n'en est pas moins constant que l'effet est le même que si la pression exercée à l'extrémité A de ce tube était moindre que celle de l'atmosphère. En conséquence et sans rien présupposer sur les causes dont ce phénomène peut dépendre, j'exprime ses effets en disant que *les pressions qu'un courant d'eau vertical exerce dans un sens*

perpendiculaire à son mouvement contre un corps solide, placé soit à sa surface soit dans son intérieur, sont moindres que la pression de l'atmosphère; qu'elles varient avec la position du corps dans le courant; et qu'elles sont d'autant plus petites que le courant est plus rapide.

On pourrait, à la vérité, objecter contre ces conclusions, conformément à l'opinion de M. Navier, que lorsqu'on enfonce le tube AB dans le courant, les particules d'eau sont forcées de se déranger; qu'en conséquence leur vîtesse augmente; et que les dépressions qui se manifestent alors dans la branche BC, sont relatives à cette augmentation de vîtesse. Sans contester que cet effet ne puisse avoir une certaine influence sur les dépressions, je me contenterai d'observer qu'il est impossible qu'il en soit seul la cause: 1° parce que l'extrémité effilée du tube AB n'avait pas plus de $\frac{1}{4}$ de millimètre de diamètre extérieur, ce qui ne pouvait pas causer un grand changement dans la surface libre de la veine; 2° parce que cette veine étant libre dans l'atmosphère pouvait se dilater aisément; 3° parce qu'enfin l'augmentation de vîtesse des molécules ne pouvait point correspondre à une dépression de $0^m,080$, c'est-à-dire égale aux $\frac{4}{5}$ de la hauteur de l'eau dans le vase EG.

Je ferai remarquer d'ailleurs que les filets de la veine liquide n'étant pas parallèles entre eux, la face verticale A par laquelle se termine le tube ABC, n'était point tangente à tous ces filets, mais qu'elle

l'était seulement à celui du centre ; et que cette cause influe aussi, comme nous le verrons bientôt, sur les dépressions. Au reste, je ne considère ici le phénomène que dans son ensemble ; je reviendrai par la suite sur les différentes circonstances qui l'accompagnent, afin de démêler pour combien chacune d'elles entre dans les effets observés.

Lorsque la hauteur de l'eau dans le vase est plus grande que $0^m,10$ ou $0^m,12$, on ne peut plus se servir du tube capillaire ABC pour mesurer les pressions, parce qu'alors la branche BC se vide entièrement. J'emploie dans ce cas un tube recourbé ABCD (Fig. 14) effilé en A, que je remplis entièrement d'eau. A l'aide de cet appareil on reconnaît que la loi énoncée plus haut a lieu pour les grandes charges d'eau comme pour les petites.

Pour mesurer les pressions que le courant d'eau exerce dans toute autre direction, je mastique en B (Fig. 15) dans un tube de verre BCD, un petit tube en argent AB ouvert en B, fermé en A, et qui porte sur sa surface cylindrique un très-petit trou E dont l'axe est parallèle à une tige FG fixée sur ce tube. Si la tige FG est verticale et dirigée au-dessus de AB, par exemple, le trou E est horizontal, et en introduisant le tube horizontal AB dans le courant, je mesure par l'élévation de l'eau dans le tube CD, la pression qui en tous les points de la veine fluide est exercée sur la surface E. Cela fait, j'ôte le mastic qui lute la jointure B ; je fais tourner la tige FG de manière qu'elle fasse un angle de 5° avec la verticale ; je lute de nouveau le tube en B, et

je mesure les pressions exercées sur la surface E. Je continue ainsi jusqu'à ce que le trou E ait été présenté au courant dans toutes les directions.

L'expérience dirigée de la sorte conduit aux résultats suivans : *soit* CDEF (Fig. 16) *un courant d'eau vertical dirigé dans le sens* CD, *et soit* M *un corps infiniment petit placé dans ce courant. Menons par le point* M *une verticale* BA, *et par cette droite un plan* $BA'''A$. *L'expérience montre que l'élément* M *supporte et détruit dans le sens* AM *une pression plus grande que celle de l'atmosphère, ainsi que la chose est connue depuis long-temps ; que dans une direction* $A'M$ *peu écartée de* AM *cette pression est un peu moindre que la précédente ; qu'elle décroît à mesure que l'angle* AMA' *augmente et qu'elle devient égale à celle de l'atmosphère dans une direction* $A''M$ *telle que l'angle* AMA'' *est plus petit qu'un angle droit ; que la direction* $A''M$ *continuant toujours de s'écarter de* AM, *la pression décroît sans cesse jusqu'à une certaine direction* $A'''M$ *à peu près perpendiculaire à* AM *à laquelle répond son minimum ; qu'au-delà de* $A'''M$ *la pression sur l'élément* M *augmente d'une manière continue jusqu'à* BM, *qu'elle atteint son maximum dans cette dernière position, mais que cette pression maximum est moindre que celle de l'atmosphère ; enfin que de l'autre côté de* BM *la pression sur l'élément* M *diminue depuis* BM *jusqu'à* $A^{iv}M$ *où elle est à son minimum, qu'elle augmente au-delà de* $A^{iv}M$, *en se rapprochant de* AM *et qu'elle atteint dans*

cette dernière position le maximum maximorum.

Si l'on considère que tout ce qui vient d'être dit pour le plan ABA‴ convient à tout autre plan passant par AB, on pourra conclure que *parmi les pressions que l'élément* M *supporte successivement, il y en a deux qui sont des maximum, et dont les directions sont* MA *et* MB, *mais que ces deux pressions sont inégales l'une étant plus grande, l'autre plus petite que la pression atmosphérique; que les pressions minimum en nombre infini, sont dirigées suivant des droites qui partant du point* M *font avec* MA *des angles tels que* AMA‴ *et peu différens d'un angle droit.* Quant aux valeurs numériques, tant de ces pressions maximum et minimum que de celles qui sont intermédiaires, elles varient non-seulement avec la vitesse du courant, mais encore avec la position du point M que l'on considère.

Lorsqu'un courant d'eau au lieu d'être dirigé dans l'atmosphère, traverse une masse d'eau en repos, les pressions qu'il exerce sur les différentes faces d'un très-petit corps solide placé dans son intérieur, suivent une loi analogue à la précédente; en sorte que ce corps supporte sur certaines faces des pressions plus grandes, et sur certaines autres des pressions plus petites que si le milieu était en repos.

Il en est de même lorsqu'un courant d'air traverse l'atmosphère. Les expériences au moyen desquelles on peut mettre ces propriétés en évidence sont semblables aux précédentes, ce qui me dispense de les rapporter ici.

Le mercure ne mouillant pas le verre et les pressions qu'un courant de ce liquide exerce sur un corps immobile, dans un sens perpendiculaire et dans un sens opposé à celui de son mouvement, différant peu de la pression atmosphérique, il m'a fallu quelques précautions pour les observer; j'y suis parvenu par le moyen qui suit.

J'ai pris un petit tube d'argent de $\frac{2}{3}$ de millimètre de diamètre extérieur et de $\frac{1}{2}$ millimètre de diamètre intérieur, je l'ai courbé à angle droit; j'ai scellé hermétiquement sa branche BC (Fig. 17) dans un tube de verre DEFG plié à angle droit en E, et effilé en FG pour rendre son diamètre intérieur très-petit. Cela fait, j'ai introduit une petite colonne d'eau en H dans la partie effilée FG; puis tenant la branche DE dans une situation verticale, j'ai enfoncé la branche AB du tube métallique dans un bain de mercure, de manière que son arête supérieure arrasât le niveau du bain, et je l'ai laissé dans cette position jusqu'à ce que ce liquide se fût élevé dans le tube à la hauteur convenable à sa capillarité. Alors, j'ai ôté le tube du bain; et, tenant toujours sa partie DE dans une position verticale, j'ai laissé tomber un courant de mercure sur son extrémité A : aussitôt le cylindre d'eau H marcha vers le point E de un ou deux centimètres, ce qui montra qu'il était sorti un peu de mercure du tube AB.

Cette expérience démontre que les courans de mercure jouissent des mêmes propriétés générales que ceux d'air et d'eau. Mais la nécessité où l'on est

d'effiler le tube de verre FG pour rendre le mouvement de l'index sensible, montre que les pressions transversales des courans de mercure sont beaucoup plus grandes que celles des courans des deux autres fluides que j'ai considérés.

Je ne donne point ici les valeurs numériques de ces diverses pressions des courans, vu qu'il est nécessaire d'exposer préalablement plusieurs propriétés du mouvement des fluides sur lesquelles leur mesure est fondée (1).

Lorsque les courans fluides ne sont pas verticaux, les pressions qu'ils exercent sur un petit corps placé à leur surface ou dans leur intérieur, ne suivent pas une loi aussi simple, parce que la pesanteur vient compliquer les effets; cependant les résultats généraux diffèrent peu de ceux que nous venons de voir au sujet des courans verticaux.

Il est aisé maintenant de comprendre la cause des mouvemens produits dans un milieu par un courant qui le traverse. En effet, soit AB (Fig. 20) un courant vertical dirigé dans l'atmosphère, et soit *m* une molécule d'air située près de lui. Il est clair que dans

(1) Si l'on veut seulement prendre une idée des phénomènes que je viens d'exposer, rien ne sera plus facile: il suffira de placer dans un vase contenant de l'eau un tube fin CD (Fig. 18) ouvert par les deux bouts et de diriger tangentiellement à son orifice C un courant d'air BAC. On verra alors l'eau s'élever dans le tube CD au-dessus du point où elle était avant que le courant d'air ne vînt passer en C.

Si l'on recourbe ce tube, ainsi qu'on le voit (Fig. 19), on pourra en dirigeant convenablement le courant par rapport à son orifice C, observer par l'élévation de l'eau dans ce tube, les pressions relatives à diverses inclinaisons du courant sur la face C, pourvu que ces pressions soient moindres que celle de l'atmosphère.

les directions *am*, *a'm'*, *a''m''*, *a'''m'''*, *a^{iv}m*, cette molécule sera soumise à la pression de l'atmosphère ; que dans les directions *cm*, *c'm*, etc. les pressions qu'elle éprouvera seront plus petites, et que dans des directions telles que *dm* elles seront plus grandes que celle de l'atmosphère. En conséquence la molécule *m* sera poussée vers le courant dans une direction telle que *mb*. Il en sera de même pour toutes les autres molécules *m'*, *m''*, etc. situées auprès du courant. Si l'on envisage maintenant une molécule plus éloignée *p*, elle sera soumise d'un côté à la pression de l'atmosphère en repos, de l'autre aux pressions des courans *mb*, *m'b'*, etc ; et l'on verra, en répétant les raisonnemens précédens, qu'elle doit suivre une ligne telle que *pn* inclinée sur *mb*. Considérant ainsi des molécules de plus en plus éloignées du courant, on sera amené à conclure que l'une quelconque d'entre elles *s* doit suivre en s'en approchant un chemin tel que *srqpnm*, ce qui s'accorde avec les expériences rapportées dans le chapitre premier. On voit par là que *ce n'est pas une force attractive qui produit le mouvement des molécules du milieu vers le courant, mais que ce mouvement est dû aux pressions diverses qui agissent en chaque point sur les molécules de ce milieu.*

Il reste encore à examiner quelle peut être la cause des effets que j'ai désignés par le nom de pressions qu'un courant exerce dans tous les sens sur un corps infiniment petit qui est en repos à sa surface ou dans son intérieur. C'est une question

sur laquelle je me propose de revenir quand je ferai connaître les valeurs numériques de ces pressions diverses.

FIN.








BIBLIOTECA